

Integração STEM na Educação Básica veiculada por atividades de modelagem matemática com experimentação

STEM integration in Basic Education conveyed by mathematical modeling activities with experimentation

Integración STEM en la Educación Básica a través de actividades de modelación matemática con experimentación

Intégration STEM dans l'éducation de base par des activités de modélisation mathématique avec expérimentation

Karina Alessandra Pessoa da Silva¹

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

<http://orcid.org/0000-0002-1766-137X>

Paulo Henrique Hideki Araki²

Universidade Estadual de Maringá

<https://orcid.org/0000-0003-1076-7670>

Adriana Helena Borssoi³

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

<http://orcid.org/0000-0002-1725-6307>

Resumo

Este artigo investiga como a educação STEM é mobilizada no desenvolvimento de atividades de modelagem matemática com experimentação. Para isso, fundamentou-se em um quadro teórico que considera elementos da experimentação, da modelagem matemática e da integração da educação STEM. As atividades analisadas foram desenvolvidas por três grupos de alunos de uma turma de 9º ano do ensino fundamental de uma escola particular do estado do Paraná, na disciplina de matemática, no ano de 2018. Nas referidas atividades, os alunos, reunidos em grupos, escolheram a temática da experimentação a ser realizada, definiram um problema, coletaram dados empíricos, realizaram uma abordagem matemática e obtiveram uma solução para o problema. Para realizar as análises, utilizaram-se as gravações em áudio e vídeo e os

¹ karinasilva@utfpr.edu.br

² phh.araki@gmail.com

³ adrianaborssoi@utfpr.edu.br

registros escritos dos relatórios entregues pelos alunos. Por meio de análise qualitativa, inspirada na *research design*, evidenciou-se que a experimentação se configurou como uma estrutura que permitiu a integração entre as áreas STEM por meio de estudos e pesquisas sobre os fenômenos estudados, da manipulação de *softwares* para ajustes de curvas, do uso de equipamentos laboratoriais e suas implicações para a experimentação realizada, e dos conteúdos matemáticos necessários para a obtenção de uma solução para o problema.

Palavras-chave: Modelagem Matemática, Experimentação, Educação STEM, Funções, 9º Ano do Ensino Fundamental.

Abstract

This paper investigates how STEM education is mobilized in the development of mathematical modeling activities with experimentation. For this, it was based on a theoretical framework that considers elements of experimentation, mathematical modeling, and the integration of STEM education. The activities analyzed were developed by three groups of students from a 9th-grade class of elementary school from a private school in the state of Paraná, in the mathematics subject, in the year 2018. In these activities, gathered in groups, the students chose the theme of experimentation to be carried out, defined a problem, collected empirical data, performed a mathematical approach, and obtained a solution to the problem. For the analyses, audio and video recordings and written records of reports delivered by students were used. Through qualitative analysis, inspired by the research design, it became evident that experimentation was configured as a structure that allowed the integration between STEM areas through studies and research on the studied phenomena, manipulation of software for curve adjustments, use of laboratory equipment and its implications for the experimentation carried out, and on the mathematical content necessary to obtain a solution to the problem.

Keywords: Mathematical modeling, Experimentation, STEM Education, Functions, 9th grade of elementary school.

Resumen

Este artículo investiga cómo la educación STEM se moviliza en el desarrollo de actividades de modelación matemática con experimentación. Para ello, se basó en un marco teórico que considera elementos de experimentación, modelación matemática y la integración de la educación STEM. Las actividades analizadas fueron desarrolladas por tres grupos de alumnos de una clase de 9º grado de la Enseñanza Fundamental de una escuela privada del estado de Paraná, en la asignatura de Matemáticas, en el año 2018. En estas actividades, los alumnos, reunidos en grupos, eligieron el tema de experimentación a realizar, definieron un problema, recolectaron datos empíricos, realizaron un planteamiento matemático y obtuvieron una solución al problema. Para la realización de los análisis se utilizaron grabaciones de audio y video y registros escritos de los informes entregados por los estudiantes. A través del análisis cualitativo, inspirado en el *Research Design*, se evidenció que la experimentación se configuró como una estructura que permitió la integración entre áreas STEM a través de estudios e investigaciones sobre los fenómenos estudiados, la manipulación de software para ajuste de curvas, el uso de equipos de laboratorio y sus implicaciones en la experimentación realizada y el contenido matemático necesario para obtener una solución al problema.

Palabras clave: Modelación Matemática, Experimentación, Educación STEM, Funciones, 9º Año de Educación Primaria.

Résumé

Cet article étudie comment l'enseignement STEM est mobilisé dans le développement d'activités de modélisation mathématique avec expérimentation. Pour cela, il s'est appuyé sur un cadre théorique qui considère des éléments d'expérimentation, de modélisation mathématique et d'intégration de l'enseignement STEM. Les activités analysées ont été développées par trois groupes d'élèves d'une classe de 9e année de l'école élémentaire, d'une école privée de l'État de Paraná, dans la discipline des mathématiques, en 2018. Dans ces

activités, les élèves, réunis en groupes, ils ont choisi le thème d'expérimentation à réaliser, défini un problème, collecté des données empiriques, effectué une démarche mathématique et obtenu une solution au problème. Pour effectuer les analyses, des enregistrements audio et vidéo et des enregistrements écrits de rapports remis par les étudiants ont été utilisés. Grâce à une analyse qualitative, inspirée par Research Design, il est devenu évident que l'expérimentation était configurée comme une structure permettant l'intégration entre les domaines STEM à travers des études et des recherches sur les phénomènes étudiés, dans la manipulation de logiciels pour les ajustements de courbes, dans l'utilisation d'équipements de laboratoire et ses implications pour l'expérimentation menée et dans le contenu mathématique nécessaire pour obtenir une solution au problème.

Mots-clés: Modélisation mathématique, Expérimentation, Éducation STEM, Fonction, 9^e année de l'école primaire.

Integração STEM na Educação Básica veiculada por atividades de modelagem matemática com experimentação

O acrônimo STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) consiste em um movimento chamado Educação STEM que enfatiza a Ciência, a Tecnologia, a Engenharia e a Matemática. Embora tenha se popularizado em alguns países, como nos Estados Unidos, no Brasil esse movimento ainda é recente. Todavia, parece ter influenciado políticas educacionais brasileiras, como a reforma do Ensino Médio. No *link* Caderno de Práticas, presente no *site* da Base Nacional Comum Curricular⁴, orientações sobre modelo de Educação STEM são sugeridas na área de Ciências da Natureza por meio da produção de equipamentos de laboratório didático.

Pesquisas revelam que a integração da Educação STEM “permite que os alunos desenvolvam conhecimentos, atitudes e habilidades que lhes possibilitam identificar questões retiradas de situações da vida real e, em seguida, obter conclusões baseadas em evidências sobre esses problemas” (Rosa & Orey, 2021, p. 843-844). No âmbito da Educação Matemática, a Modelagem Matemática se configura como “uma alternativa pedagógica em que se aborda, por meio da Matemática, um problema não essencialmente matemático” (Almeida et al., 2012, p. 9), de forma geral, oriundo da vida real. Em atividades de modelagem matemática, o aluno reconhece “a importância da capacidade de mobilização de conhecimento matemático e extramatemático para a resolução de problemas (...) desde a área da saúde, passando pela engenharia, até ao ambiente” (Baioa & Carreira, 2019, p. 11). Com isso, entendemos que a Modelagem Matemática pode apresentar potencialidades para a integração STEM.

Considerando uma abordagem subsidiada na Educação STEM, Baker e Galanti (2017, p. 4) evidenciaram que os alunos “aplicam seus conhecimentos matemáticos, exploram estratégias possíveis, avaliam seu pensamento, comparam soluções e produzem um protótipo”.

⁴ Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/implementacao/praticas/caderno-de-praticas>. Acesso em: 06 jun. 2022.

Mas, de que forma é possível realizar uma integração STEM no âmbito educacional? Hallström e Schönborn (2019) entendem que a integração pode ocorrer entre duas ou mais áreas STEM. Os autores ainda destacam a necessidade de que “práticas pedagógicas baseadas em modelos para salas de aula de educação STEM sejam mais pesquisadas e testadas em ambientes educacionais reais” (Hallström & Schönborn, 2019, p. 9). English (2017, p. 6) ainda argumenta que, na Educação Básica, aspectos relativos à engenharia constituem um elemento que “é severamente negligenciado e tende a permanecer o membro silencioso da sigla STEM”.

Em atividades de modelagem matemática com experimentação em que alunos da Educação Básica desenvolveram um protótipo, Baioa e Carreira (2019, p. 11) evidenciaram que o uso de materiais e equipamentos “incentiva o trabalho prático (‘mãos na massa’), a aprendizagem cooperativa, a discussão e pesquisa, o questionamento e a elaboração de conjecturas, a produção de justificações, a elaboração de relatórios, a atividade de resolução de problemas”. De forma geral, nessas atividades, os alunos usam “artefatos cotidianos, materiais escolares e conhecimento da situação (mesmo não sendo especialista em tal conhecimento) para chegar a resultados considerados razoáveis” (Carreira & Baioa, 2018, p. 213).

Lorenzato (2010) afirma que experimentar é ir além do resultado, é valorizar também a construção do conhecimento, pois mais importante do que conhecer respostas é saber encontrá-las. Com isso, a experimentação nos contextos de ensino e aprendizagem possibilita estabelecer relações entre diversas áreas da ciência, em que se propõe a “criação de situações que discutam com o sujeito aprendiz a apropriação de conhecimentos já existentes para as ciências, mas novos para o sujeito” (Lima & Teixeira, 2011, p. 11).

Para Emden e Sumfleth (2014), a experimentação no ensino e aprendizagem pode ser caracterizada em três etapas: (1) os alunos precisam ter uma ideia e estruturar uma hipótese para resolver um problema; (2) a partir dessa ideia ou hipótese, eles planejam e executam um experimento (físico, computacional, geométrico ou algébrico); (3) os resultados da

experimentação são apresentados pelos alunos, podendo levar à revisão da hipótese inicial sempre que julgado pertinente.

Levando em consideração os apontamentos supracitados, entendemos que atividades de modelagem matemática com experimentação podem auxiliar na integração STEM quando desenvolvidas com alunos da Educação Básica, possibilitando, inclusive, suprir a necessidade de abarcar aspectos de engenharia, como assevera English (2017). Nesse sentido, lançamos atenção para a questão de pesquisa: Como a Educação STEM é mobilizada no desenvolvimento de atividades de modelagem matemática com experimentação por alunos do 9º ano do Ensino Fundamental?

As discussões e reflexões sobre a questão de pesquisa são subsidiadas pelo quadro teórico relativo à Modelagem Matemática e experimentação, bem como por articulações entre Modelagem Matemática e Educação STEM, que será apresentado nas seções a seguir. Na sequência, na seção aspectos metodológicos da pesquisa, trazemos o contexto da pesquisa e a escolha metodológica e especificamos o uso do Research Design. Em seguida, são descritas as três atividades de modelagem matemática, desenvolvidas por três grupos de alunos do 9º ano do Ensino Fundamental. Uma análise subsidiada no quadro teórico e orientada pela metodologia de pesquisa é abordada na seção subsequente. Por fim, tecemos algumas considerações, bem como apontamos implicações futuras.

Modelagem Matemática com experimentação: algumas considerações

Embora existam diferentes concepções sobre Modelagem Matemática em sala de aula, como já discutido em investigação realizada por Klüber e Burak (2008), entendemos que, de forma geral, a Modelagem Matemática “começa com um problema do mundo real que requer interpretação, investigação e representação matemática” (English, 2016, p. 187). Com isso, se faz necessário um conjunto de ações que configuram uma atividade de modelagem matemática.

Dentre essas ações, destacam-se:

a busca de informações, a identificação e seleção de variáveis, a elaboração de hipóteses, a simplificação, a obtenção de uma representação matemática (modelo matemático), a resolução do problema por meio de procedimentos adequados e a análise da solução que implica numa validação, identificando a sua aceitabilidade ou não. (Almeida & Ferruzzi, 2009, p. 120-121)

Esse conjunto de ações permite que atividades de modelagem sejam implementadas na sala de aula de diferentes níveis de escolaridade, de modo a se constituir como uma prática pedagógica para o ensino e a aprendizagem da Matemática. Ao teorizar sobre modelagem matemática como prática pedagógica, Schrenk e Vertuan (2022) defendem que os alunos trabalhem em grupos e esclarecem que, no movimento da investigação, é proporcionado

ao professor, entender que o sucesso do ensino e da aprendizagem de matemática com a Modelagem inicia muito antes e se estende para além do desenvolvimento da atividade em sala de aula; aos estudantes, entenderem que, enquanto investigam e modelam em grupo uma situação não necessariamente matemática com recursos matemáticos, a matemática se torna importante para sua formação e para as situações que encontrará na sua vivência dentro e fora da sala de aula, como uma lente possível para a leitura do mundo. (Schrenk & Vertuan, 2022, p. 221)

Neste sentido, é conferido ao aluno “apreciar como sua aprendizagem escolar em matemática e ciências se aplica aos problemas do mundo exterior” (English & Mousoulides, 2015, p. 532).

Considerando a natureza dos problemas relativos ao “mundo exterior” que podem ser investigados em uma prática pedagógica, os experimentos “encontram seu lugar natural na estrutura da modelagem matemática, porque representam o ‘resto do mundo’ para o qual os modelos matemáticos são construídos” (Halverscheid, 2008, p. 226). Além disso, os experimentos oriundos da experimentação incluem a formulação de conjecturas, o uso da matemática para a descoberta de resultados não previamente conhecidos, a testagem de diferentes alternativas para a obtenção de resultados, bem como a análise das soluções obtidas (Borba & Villarreal, 2005). Em alguns casos, “um modelo pode ser tanto um protótipo de alguma parte da realidade ou o resultado de um processo de matematização após a experimentação sobre um protótipo” (Carreira & Baioa, 2018, p. 204). O que podemos

conjecturar é que, por meio da experimentação, em atividades de modelagem, para além de fazer uso de procedimentos matemáticos, é possível articular conhecimentos de outras áreas.

Carreira e Baioa (2011) asseveram que a experimentação consiste em um tipo particular de Modelagem, com base em três fatos:

(1) Os alunos têm a oportunidade de aprender fazendo (enquanto executam manipulação e experimentação reais, se engajam em conjecturar e validar). (2) Trabalhar com materiais físicos concretos é uma maneira de investigar as propriedades matemáticas dos objetos. (3) Investigar por meio da experimentação reflete sobre ações mentais e sobre a aprendizagem subsequente de ideias matemáticas e se torna uma maneira de desenvolver compreensão de modelos matemáticos. (Carreira & Baioa, 2011, p. 214)

Ao fazer um mapeamento de trabalhos que versam sobre experimentação em eventos da área de Modelagem Matemática – Encontro Paranaense de Modelagem na Educação Matemática, Conferência Nacional sobre Modelagem na Educação Matemática e International Conference on the Teaching of Mathematical Modelling and Applications – Araki e Silva (2022, p. 160) concluíram que se trata de “um assunto em aberto e em pleno desenvolvimento na área, uma vez que pouco menos de 12% dos trabalhos, até certa extensão, tratam da articulação entre experimentos e Modelagem”. Além disso, os autores evidenciaram que, de forma geral, “as atividades propostas, quase unanimemente, buscaram conciliar o entendimento que o aluno tem acerca de um fenômeno, real ou conceitual, com a Matemática” (Araki & Silva, 2022, p. 160).

Com enfoque na experimentação com tecnologia, Almeida et al. (2021) investigaram como decorrem elementos que indicam aprendizagem em atividades de modelagem matemática. As autoras, por meio de atividades desenvolvidas por grupos de alunos de distintos cursos universitários, evidenciaram que a experimentação, ancorada em ferramentas tecnológicas, proporcionou meios para que os estudantes sinalizassem o que estavam aprendendo. Segundo as autoras, por meio da dinâmica estabelecida na associação da experimentação com a tecnologia digital, foi possível “proporcionar meios para que o estudante

se engaje nas ações, tome decisões, esteja em interação com o professor, com os colegas e com os meios que lhe permitem experimentar no desenvolvimento de atividades de modelagem” (Almeida et al., 2021, p. 144).

Sob uma perspectiva da Educação STEM, tem-se como objetivo ampliar os entendimentos do aluno por meio de atividades de modelagem matemática com experimentação, considerando aspectos das outras áreas – Ciência, Tecnologia e Engenharia.

Educação STEM: articulações com a modelagem matemática

Baptista e Martins (2019) defendem que uma educação integrada STEM compreende uma abordagem que visa atender às necessidades atuais da sociedade, tanto no que compete à formação de cidadãos, quanto no incentivo para que alunos sigam carreiras STEM. Rosa e Orey (2021, p. 843) entendem que as disciplinas STEM “ajudam os alunos a promover suas habilidades de investigação e criatividade, crítica e reflexão, pensamento, colaboração e comunicação”. Essas ações promovem a formação de recursos humanos qualificados para atuar em carreiras que se beneficiam das áreas STEM ou mesmo que exijam conhecimentos e competências STEM.

Considerando as necessidades emergentes na integração STEM no contexto educacional, English (2017) elencou cinco questões centrais que devem ser consideradas nos currículos: (a) perspectivas sobre a educação STEM; (b) abordagens para integração STEM; (c) disciplina de representação STEM; (d) igualdade no acesso à educação STEM e (e) extensão STEM para STEAM (*Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics*). A autora, então, destacou, em sua investigação, a necessidade de recursos pedagógicos que possibilitem a integração da educação STEM na sala de aula. Em pesquisa anterior, English e Mousoulides (2015) consideraram articular STEM e problemas do mundo real e, com isso, evidenciaram potencialidades na Modelagem Matemática como recurso pedagógico. Para os autores:

Atividades de modelagem baseadas em engenharia fornecem uma rica fonte de situações com significado que capitalizam e ampliam o aprendizado rotineiro dos alunos. Ao integrar essas atividades dentro dos currículos existentes, os alunos melhor apreciam como sua aprendizagem escolar em matemática e ciências se aplica aos problemas do mundo exterior. (English & Mousoulides, 2015, p. 532)

Hallström e Schönborn (2019) afirmam que a modelagem pode estabelecer vínculos significativos entre as áreas STEM, mas é crucial fazer distinção entre modelos para fins educacionais e modelos como parte de práticas profissionais autênticas. Para além de uma abordagem vocacional, é preciso entender a “promoção de STEM como uma forma interdisciplinar de aprender de forma autêntica Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática” (English & Mousoulides, 2015, p. 9).

Baioa e Carreira (2019, p. 11) destacam que “num contexto STEM, o processo de modelagem matemática parece estar muito próximo do chamado processo de *design* de engenharia”. As autoras se valem de um ciclo de modelagem e reconhecem nas transições entre as fases ações relativas ao *design* de engenharia, conforme esquematizado na Figura 1.

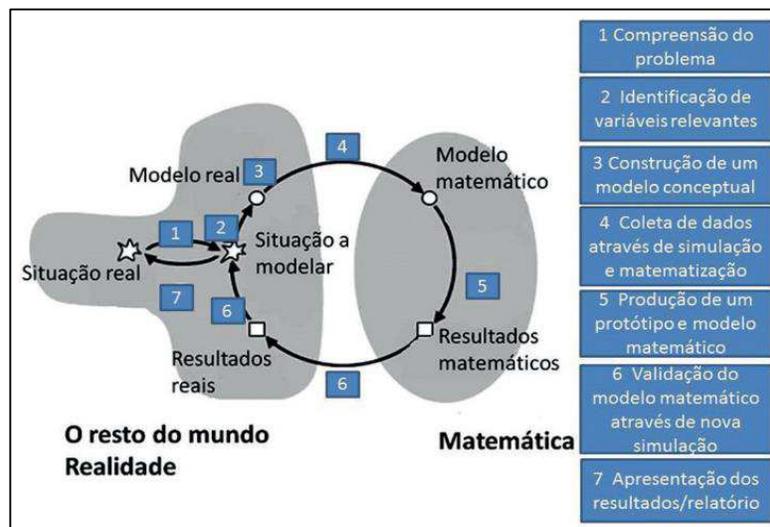


Figura 1.

Ciclo de modelagem matemática em tarefas com recurso a simulações e construção de protótipos (Baioa & Carreira, 2019, p. 12)

Por meio da implementação de atividades de modelagem matemática com foco na educação STEM e na simulação, Carreira e Baioa (2018, p. 213) se valeram de uma realidade

fictícia em que os alunos “usaram artefatos cotidianos, materiais escolares e conhecimento da situação (mesmo não sendo especialista em tal conhecimento) para chegar a resultados considerados razoáveis”. A simulação os ajudou a “refletir o que está acontecendo no mundo real, além de ser uma adaptação da realidade sob condições controladas, uma busca pela semelhança com a realidade e uma maneira de verificar como a prática funciona na realidade” (Carreira & Baioa, 2018, p. 203). Para realizar a simulação da proporção de diferentes cores de tintas para a obtenção de uma cor específica, os alunos realizaram simulações e obtiveram um protótipo como “resultado de um processo de matematização após a experimentação” (Carreira & Baioa, 2018, p. 204).

Maiorca e Stohlmann (2016) definem o *design* de engenharia como sendo um processo de resolução de problema interativo, no qual múltiplas soluções são possíveis e alegam que atividades baseadas nesse processo permitem aos estudantes perceber que a maioria dos problemas de engenharia exige um esforço criativo. A modelagem matemática pode ser considerada um componente essencial para o processo de *design* de engenharia. São processos similares, ambos são interativos, têm mais de uma possível solução e encorajam o pensamento sistêmico. O processo é também uma solução de problema que requer conhecimentos de matemática, ciência ou tecnologia para criar mecanismos que melhoram nossas vidas. As autoras asseguram que a modelagem matemática tem uma importância indiscutível na aprendizagem da Matemática de alunos em diferentes níveis de ensino e deve ser considerada, em especial quando se pretende promover uma educação integrada STEM.

Aspectos metodológicos

Atividades de modelagem matemática com experimentação foram desenvolvidas com uma turma de 12 alunos de um 9º ano de uma escola da rede particular de ensino, localizada em um município do norte paranaense, no ano de 2018. O professor, um dos autores deste

artigo, atua na disciplina de Matemática desta escola desde o ano de 2016 e, além da formação em Matemática, também possui graduação em Química.

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi solicitado o aval da equipe diretiva e pedagógica da escola, visando à utilização dos espaços físicos, bem como à concessão de algumas aulas para o desenvolvimento das atividades. Além disso, uma vez que os sujeitos da pesquisa eram adolescentes, cujas idades variavam entre 13 e 14 anos, mostrou-se necessário o consentimento dos pais ou responsáveis, a partir do preenchimento e assinatura de um termo livre e esclarecido, autorizando o desenvolvimento das atividades e o uso dos dados coletados. De modo a preservar as identidades dos alunos, utilizamos a letra A seguida de um número – A1, A2, ..., A12 – para nos remetermos a alguma ação na atividade. O professor é referenciado pela letra P.

Considerando o encaminhamento da ementa da disciplina, bem como de outras atividades pedagógicas da escola, foram desenvolvidas sete atividades de modelagem com experimentação, no período de 14 de maio de 2018 a 05 de dezembro de 2018. Ao todo, os alunos contavam com cinco aulas semanais de Matemática de 50 minutos cada, que ocorriam nas segundas-feiras, terças-feiras e quartas-feiras. Eventualmente, observando a necessidade do desenvolvimento das atividades em outros horários, havia a possibilidade de troca de aulas com professores de outras disciplinas ou da realização das atividades em horários extraclasse.

Para que os alunos se familiarizassem com atividades de modelagem, a implementação ocorreu segundo os momentos de familiarização abordados por Almeida et al. (2012). Para os autores, “embora não seja uma prescrição rigorosa, (...) essa introdução ‘gradativa’ de atividades de modelagem reside na possibilidade que o aluno tem de desenvolver a ‘habilidade de fazer modelagem’” (Almeida et al., 2012, p. 27).

De modo a trazer reflexões para a questão de pesquisa – Como a Educação STEM é mobilizada no desenvolvimento de atividades de modelagem matemática com experimentação

por alunos do 9º ano do Ensino Fundamental? –, neste artigo, analisamos três atividades de modelagem, desenvolvidas por três grupos de alunos – G1, G2 e G3 – segundo o 3º momento de familiarização em que

os alunos, distribuídos em grupos, são responsáveis pela condução de uma atividade de modelagem, cabendo a eles a identificação de uma situação-problema, a coleta e análise dos dados, as transições de linguagem, a identificação de conceitos matemáticos, a obtenção e validação do modelo e seu uso para a análise da situação, bem como a comunicação desta investigação para a comunidade escolar. (Almeida et al., 2012, p. 26)

As atividades de 3º momento foram desenvolvidas em horário extraclasse nos meses de novembro e dezembro com os alunos reunidos no laboratório de Ciências da escola, sob a orientação do professor. Na Tabela 1, apresentamos o tema de cada atividade e os alunos participantes do grupo (G1, G2 e G3). Cabe ressaltar que, no dia 05 de dezembro, foi feita a comunicação dos resultados por todos os grupos para o restante da turma em aulas regulares.

Tabela 1.

Atividades de modelagem de 3º momento (Dados da pesquisa)

Grupo	Tema	Alunos
G1	Efeito crioscópico do sal	A1, A2, A3, A4
G2	<i>Slime</i>	A5, A6, A7, A8
G3	Pilha de limão	A9, A10, A11, A12

Os dados que subsidiaram nossa análise são relatórios dos alunos; gravações em áudio, feitas a partir de *smartphones*, do professor e dos próprios alunos, de modo a permitir a transcrição dos diálogos e discussões; gravações em vídeo, utilizando uma filmadora e também *smartphones*, permitindo a visualização das ações dos alunos na realização das atividades; fotos feitas pelo professor, de maneira a registrar situações que pudessem auxiliar na análise das atividades.

A metodologia de pesquisa qualitativa foi inspirada na Research Design, que tem como objetivo evidenciar “novas maneiras de pensar sobre a natureza do ensino, da aprendizagem e da resolução de problemas eficazes” (Lesh, 2002, p. 29). O que almejamos em nossa pesquisa

foi evidenciar novas maneiras de pensar atividades de modelagem que integram a educação STEM na Educação Básica.

Descrição das atividades de modelagem matemática com experimentação desenvolvidas pelos alunos do 9º ano

Na atividade do G1, intitulada “Efeito crioscópico do sal”, os alunos buscaram investigar o fenômeno da diminuição do ponto de fusão do gelo a partir da adição de sal de cozinha. O interesse do grupo pelo tema surgiu a partir de um relato feito pela A1 em que, incentivada a desenvolver uma atividade de modelagem matemática com experimentação, compartilhou com o seu grupo uma experiência prévia, envolvendo o resfriamento de latas de alumínio utilizando água, gelo e sal.

A partir da definição do tema, os alunos foram orientados pelo professor a buscar informações na internet sobre esse fenômeno, subsidiando uma discussão inicial que antecedeu à experimentação. Em suas buscas, o grupo se embasou em um vídeo de um experimento sobre o efeito crioscópico do sal. As discussões dos alunos pareciam remeter diretamente ao conteúdo do vídeo:

A1: (...) no vídeo, ele mediu a temperatura do gelo, antes e depois de colocar o sal.

P: E o que aconteceu?

A1: Quando ele colocou sal, o gelo começou a derreter.

A3: E a temperatura baixou.

(...)

P: E como vocês pretendem investigar isso na atividade?

A1: A gente achou que seria interessante ver como a temperatura muda. Tipo, se colocar pouco sal, vai ser uma temperatura. E se a gente colocar mais sal?

(...)

A2: A gente poderia pesar o sal antes de colocar e ir anotando a temperatura.

Para a coleta de dados, os alunos desenvolveram uma série de experimentos, considerando diferentes massas de sal e uso de diferentes equipamentos laboratoriais, como mostra a Figura 2.

Atividade 1 - “Efeito crioscópico do sal”
Experimento: determinação da variação da temperatura da água, a partir da adição de sal.
Materiais e reagentes: água destilada, sal de cozinha, gelo, balança, termômetro analógico de mercúrio, béquer, bastão de vidro.



Passo 1: Com o auxílio de uma balança, os alunos aferiram a massa de sal no interior de um béquer.



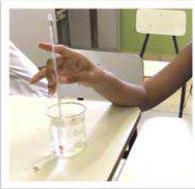
Passo 2: Foram adicionados 200 mL de água destilada no béquer, de modo a dissolver todo o sal.



Passo 3: A temperatura inicial da solução foi aferida, utilizando um termômetro analógico de mercúrio.



Passo 4: Adicionou-se um cubo de gelo no interior do béquer e, com o auxílio de um aparelho celular, esperou-se durante um minuto.



Passo 5: Após esse tempo, a temperatura da solução foi novamente aferida, obtendo a variação de temperatura.

Figura 2.

Ações desenvolvidas pelo G1 no decorrer dos experimentos (Dados da pesquisa)

Ao todo, foram feitos quatro ensaios, a partir da adição de diferentes massas de sal: 4, 6, 8 e 10 gramas. Visando simplificar a situação investigada, foram mantidos constantes o volume de água, a quantidade de gelo adicionada e o tempo de cada experimento. A Tabela 2 apresenta os dados experimentais que foram coletados pelo G1.

Tabela 2.

Dados coletados experimentalmente pelo G1 (Relatório dos alunos)

Sal (g)	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Varição de temperatura (°C)
4	27	15	12
6	28	12	16
8	28	10	18
10	28	9	19

Após a realização dos experimentos, o professor conduziu uma discussão com os alunos, visando explicitar o entendimento do G1 acerca das possíveis relações estabelecidas entre as grandezas, conforme excerto:

P: O que vocês conseguiram perceber a partir dos experimentos?

A1: Quanto mais [sal] a gente colocava, mais a temperatura baixava.

P: E isso aconteceu de maneira linear? (...)

A2: Eu acho que não...

A1: A temperatura está caindo menos. Em algum momento ela vai estabilizar.

Assim, percebemos que os alunos apontaram para a presença de uma relação de não linearidade entre as variáveis de estudo, visto que a taxa de variação da temperatura diminuía conforme era adicionada maior quantidade de sal. Visando explorar essa hipótese, o professor sugeriu ao grupo que os dados obtidos experimentalmente fossem dispostos no *software* Microsoft Excel, buscando traçar uma linha de tendência que representava o fenômeno.

Por se tratar de um *software* utilizado em outras atividades de modelagem matemática desenvolvidas em sala de aula, os alunos recorreram ao conhecimento prévio que possuíam sobre o ajuste de curvas, elegendo a massa de sal de cozinha como sendo a variável independente e a variação de temperatura como a variável dependente. Dentre as curvas sugeridas pelo *software*, o grupo elegeu uma função polinomial de segundo grau (representada pela expressão algébrica $y = -0,1875x^2 + 3,775x - 0,05$), como apresentado na Figura 3.

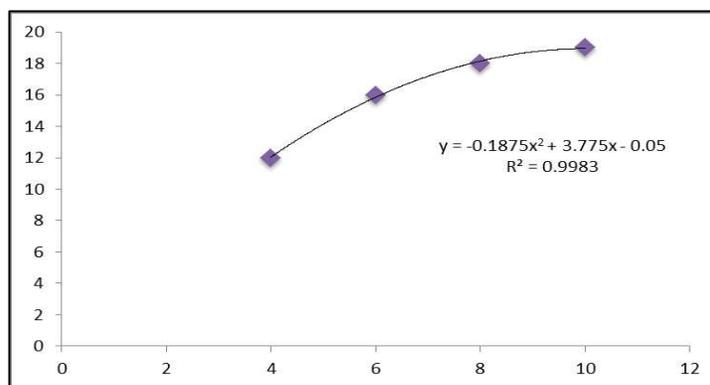


Figura 3.

Modelo matemático deduzido pelo G1 (Relatório dos alunos)

Com base no modelo matemático deduzido, os alunos puderam mobilizar os conhecimentos, construídos ao longo da disciplina de Matemática, para a resolução do problema:

P: Gente, olhando para esse modelo [matemático] que vocês deduziram, o que se pode concluir?

A2: É uma função do 2º grau.

P: E o que mais?

(...)

A1: O valor do [coeficiente] a é negativo. Então a curva é para baixo.

P: E o que isso significa para o fenômeno?

A1: Que vai ter um ponto de máximo.

(...)

A2: Vai ter uma quantidade de sal que vai dar a maior variação de temperatura.

De modo a determinar a massa de sal para a qual a variação de temperatura seria máxima, os alunos determinaram o ponto do vértice da parábola, encontrando uma massa de 10,5 gramas de sal. O resultado obtido foi validado a partir da realização de novos ensaios, recorrendo aos mesmos procedimentos experimentais utilizados anteriormente, para massas de 10,5 e 12 gramas de sal. Em ambos os casos, a variação de temperatura foi a mesma (19,5 °C), indicando que esse valor não se alteraria a partir desse ponto, ainda que fosse adicionado mais sal. Assim, os alunos concluíram que o modelo matemático encontrado satisfaz a situação investigada, encerrando a atividade.

A atividade de G2 – *Slime* – consistiu em identificar os efeitos causados pela utilização de diferentes proporções de reagentes na consistência final da mistura para produção de *slimes*. A idealização da atividade partiu de um interesse mútuo dos integrantes do grupo acerca dessa temática, pois se tratava de algo em evidência na época.

A princípio, os alunos recorreram à internet para pesquisar sobre os modos de preparo de um *slime*. Apesar de terem encontrado diversas orientações, com cores e texturas distintas, o G2 seguiu as recomendações de um vídeo que mostrava a confecção de um *slime* a partir de três ingredientes: cola branca, solução de ácido bórico 3% e bicarbonato de sódio.

De modo a evidenciar o problema a ser investigado pelo G2 no decorrer da atividade, o professor conduziu uma discussão com os alunos, como destacado no diálogo a seguir:

A5: (...) naquele vídeo [escolhido pelo grupo], quando o *slime* estava muito mole, a menina colocava mais água boricada, até ficar no “ponto certo”.

P: E como sabemos que o *slime* está no “ponto certo”?

A7: Ele não pode ficar grudando na mão.

A5: E também não pode ser muito duro.

(...)

P: Certo. E de que maneira vocês pretendem estudar a situação?

A6: A gente pensou em segurar o *slime* com a mão e ver como os *slimes* vão cair.

Nesse sentido, a problemática a ser investigada pelos alunos relacionava-se com a elasticidade dos *slimes* mediante a ação da força da gravidade. Para isso, os estudantes propuseram a confecção de *slimes* com a adição de diferentes quantidades de reagentes, conforme esquematizado na Figura 4.

Atividade 2 - “Slime”	
 <p>Passo 1: Com o auxílio de uma balança, os alunos aferiram 15 g de bicarbonato de sódio.</p>	 <p>Passo 3: Em um prato, os alunos dispuseram de 250 g de cola branca, previamente aferida com o auxílio da balança.</p>
 <p>Passo 2: Em um balão volumétrico, o bicarbonato de sódio foi dissolvido em 500 mL de solução de ácido bórico 3% (m/v).</p>	 <p>Passo 4: Em uma proveta graduada, foram aferidos volumes determinados da solução preparada de borato de sódio.</p>
	 <p>Passo 5: A solução foi adicionada, de forma gradativa, no prato contendo a cola branca, misturando-se até obter o <i>slime</i>.</p>

Figura 4.

Ações desenvolvidas pelo G2 no decorrer dos experimentos (Dados da pesquisa)

O G2 recorreu a sete ensaios, variando o volume da solução de borato de sódio que era acrescentado em cada *slime*: 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 ml. A massa de cola branca manteve-se constante (250 g), visando a simplificação da situação investigada. Os produtos finais obtidos em cada ensaio podem ser observados na Figura 5.



Figura 5.

Slimes confeccionados em ordem crescente de volume adicionado de solução (Dados da pesquisa)

Após a realização dos experimentos, os alunos puderam observar que o volume adicionado de solução de borato de sódio influenciava no produto final obtido, como evidenciado no diálogo a seguir.

P: E então pessoal?

A6: Eu achei o primeiro *slime* muito grudento. Não dá para mexer nele direito, pois fica grudando muito na mão.

P: E o *slime* que foi adicionado mais solução?

A7: Ficou bem firme.

A5: E na hora que fui tentar esticar o *slime*, ele começou a quebrar.

(...)

P: Então qual *slime* que vocês julgam que ficou melhor?

A8: Eu acho que foi esse [apontando para o *slime* 3].

A7: Ou senão esse [apontando para o *slime* 4].

Após a confecção dos *slimes*, de modo a orientar a matematização do fenômeno em estudo, o professor discutiu com os alunos acerca da forma como iriam visualizar a elasticidade da mistura.

A6: A gente pensou em gravar o *slime* caindo e usar aquele programa para analisar... aquele que a gente usou quando fizemos a atividade do canhão [se referindo a uma atividade de modelagem desenvolvida em aulas anteriores].

P: O Tracker?

A6: Sim. Eu acho que vai dar para ver no vídeo.

P: Então uma das variáveis vai ser a distância [vertical] que o *slime* percorreu. E a outra?

A6: A outra vai ser a quantidade de água boricada que tem no *slime*.

Com isso, o grupo realizou gravações de vídeo para cada *slime*, nas quais um dos integrantes segurava o *slime* com as mãos para analisar a distância vertical percorrida em um intervalo de tempo fixo de 5 segundos. Os vídeos eram, então, transferidos para um computador

e analisados, utilizando o *software* Tracker. Os dados coletados em cada teste são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3.

Dados coletados experimentalmente pelo G2 (Relatório dos alunos)

Teste	Volume de solução (ml)	Distância vertical percorrida
1	5,0	-
2	10,0	-
3	15,0	47,8
4	20,0	7,5
5	25,0	3,0
6	30,0	0
7	35,0	0

Durante a videoanálise, os alunos perceberam que os *slimes* 1 e 2 se romperam antes de completar cinco segundos de teste, de modo que as suas distâncias não foram consideradas. Com base nos dados coletados com o auxílio do Tracker, o professor sugeriu que a dedução do modelo matemático fosse feita com a utilização do *software* CurveExpert, dada a abrangência de ferramentas disponíveis. Dentre as opções apresentadas pelo *software*, a curva que melhor se ajustou aos pontos fornecidos correspondia à expressão $y = \frac{1,347 \cdot 10^{10} - 3,939 \cdot 10^8 x}{1 - 6,708 \cdot 10^7 x + 5,175 \cdot 10^6 x^2}$ em que x corresponde ao volume de solução de borato de sódio adicionado, em ml, e y a distância vertical percorrida, em cm.

A princípio, o grupo questionou a validade do modelo matemático obtido, uma vez que se tratava de uma função aparentemente inédita para os alunos. Observando as dificuldades, o professor iniciou uma discussão com a turma:

P: Vocês perceberam que temos duas variáveis presentes? O que elas representam?
[os alunos não souberam responder]

P: Quando a gente colocou os dados no *CurveExpert*, qual era a variável que estava no x ? O 15, o 20...

A6: Era a quantidade de água boricada?

P: Isso! E no y ?

A8: O quanto que o *slime* caiu.

(...)

P: Agora vamos focar apenas na parte de cima [da expressão]. O que está acontecendo?

A6: É do primeiro grau?

P: Por quê?

A6: Pois o x está elevado por 1.

P: E na parte de baixo?

A6: É do segundo grau, porque o x está elevado ao quadrado.

Buscando validar o modelo matemático deduzido, os alunos foram orientados pelo professor a determinar a distância vertical percorrida por um *slime* confeccionado a partir da adição de 17,5 ml da solução de borato de sódio. Tal volume foi escolhido de maneira arbitrária, possibilitando o estabelecimento de uma comparação entre o resultado experimental e o resultado obtido a partir da substituição na expressão, resultando em 16,8 e 16,0 cm, respectivamente. Uma vez que os valores encontrados foram próximos, os alunos consideraram o modelo matemático pertinente e, assim, encerraram a atividade.

Para a escolha da situação-problema a ser investigada, o professor sugeriu aos alunos de G3 que procurassem vídeos sobre experimentos na internet. Logo, a inspiração para a atividade surgiu de um vídeo que demonstrava a construção de uma pilha caseira a partir de limões, resultando na geração de uma corrente elétrica capaz de acender uma lâmpada de LED. Com isso, o G3 desenvolveu a atividade denominada Pilha de limão.

Sobre essa escolha, o professor começou a atividade, conduzindo uma discussão inicial com o grupo, buscando evidenciar o entendimento dos alunos acerca da situação.

P: O que vocês pretendem investigar com a atividade?

A11: Então, professor, a gente pensou em fazer aquele experimento com a pilha de limões.

P: E qual seria a situação-problema?

A9: A gente pensou em descobrir quantos limões seriam usados para ligar uma calculadora. Mas acho que ficaria difícil...

P: Por quê?

A9: Ah, porque a gente não chegou a ver como ligar a pilha de limão direto na calculadora...

P: Entendi. Mas vocês precisam ligar os limões na calculadora? (...) Pensem comigo. A calculadora ou outro aparelho vai ser carregado de que maneira?

A11: Por pilhas.

P: E se vocês medissem a corrente elétrica da pilha?

A9: É verdade...

Nesse sentido, os alunos decidiram investigar a quantidade de limões que seriam necessários para se energizar um sistema que requer três pilhas alcalinas do tipo AAA. Os experimentos conduzidos pelo G3, bem como uma síntese das ações desenvolvidas pelos alunos, encontram-se sistematizados na Figura 6.

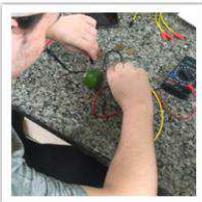
Atividade 3 - “Pilha de limão”

Experimento: confecção de pilhas a partir de diferentes quantidades de limões em série.

Materiais e reagentes: limões, clips de papel, moeda revestida de cobre, voltímetro, pilha alcalina do tipo AAA, cabos de cobre com garras do tipo jacaré.



Passo 1: Utilizando um voltímetro, os alunos determinaram a tensão de uma pilha alcalina do tipo AAA (1,43 V).



Passo 3: A tensão elétrica gerada pela pilha de limão foi aferida utilizando o voltímetro.



Passo 2: Para a construção da pilha, foram feitas duas incisões em um limão, inserindo uma moeda revestida de cobre e um clipe de papel.



Passo 4: De modo a ligar mais de um limão em série, foram utilizados cabos de cobre com garras acopladas em suas extremidades.

Figura 6.

Ações desenvolvidas pelo G3 nos experimentos (Dados da pesquisa)

Ao todo, foram realizados três ensaios a partir de diferentes quantidades de limões (1, 2 e 3 limões ligados em série). Os dados coletados pelos alunos encontram-se dispostos na Tabela 4.

Tabela 4.

Dados coletados experimentalmente pelo G3 (Relatório dos alunos)

Quantidade de limões	Tensão elétrica (V)
1	0,97
2	1,96
3	2,9

Após a realização dos experimentos, o professor conduziu uma discussão com o grupo acerca dos dados obtidos, bem como buscou definir os próximos passos a serem seguidos.

P: O que vocês podem dizer sobre os dados encontrados?

A10: Como assim?

P: De que forma a tensão elétrica e a quantidade de limões se relacionam?

A9: Quanto mais limões, maior era a energia gerada.

(...)

P: E de que forma a gente pode obter o modelo [matemático] para a situação?

A10: Podemos fazer um gráfico no computador, para achar a fórmula.

Observando o interesse do grupo em utilizar o computador, o professor, então, sugeriu a utilização do *software* Microsoft Excel para a dedução do modelo matemático que representasse a situação. A escolha por esse *software* se deu com base no conhecimento prévio dos alunos acerca desse recurso. Dentre as opções apresentadas pelo *software*, os alunos elegeram o ajuste linear (Figura 7) como aquele que mais se aproximou dos valores dispostos, obtendo, assim, a função $y = 0,965x + 0,0133$, onde x corresponde à quantidade de limões e y a tensão elétrica gerada, em volts.

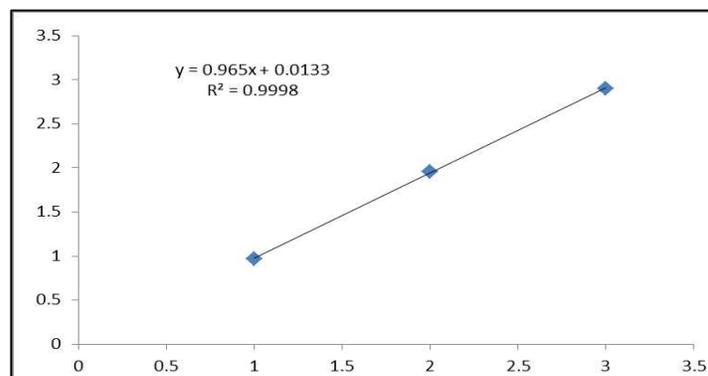


Figura 7.

Modelo matemático deduzido pelo G1 (Relatório dos alunos)

Sobre esse modelo matemático, os alunos puderam associá-lo a conhecimentos construídos no decorrer da disciplina de Matemática, sobretudo o estudo de função afim, como evidenciado no diálogo transcrito a seguir.

P: Gente, o que vocês conseguem dizer sobre esse modelo matemático?

A12: O gráfico deu uma reta.

(...)

A9: É uma função afim.

P: E o que isso implica em termos do fenômeno? (...) Como o fenômeno se comporta?

A10: Cada limão vai gerar aproximadamente 1 V.

P: E vocês acreditam que esse valor se mantém constante?

A10: Eu acho que sim...

De modo a solucionar o problema, inicialmente, os alunos determinaram, por proporcionalidade, a tensão elétrica fornecida por três pilhas alcalinas, recorrendo ao valor encontrado para uma pilha. Assim, a pilha de limão deveria fornecer uma tensão elétrica de, ao menos, 4,29 V. Contudo, recorrendo ao modelo matemático, os alunos perceberam que, para fornecer essa tensão elétrica, seriam necessários 4,43 limões. Assim, antes de realizar a validação experimental, o professor questionou esse resultado.

P: E agora, pessoal? Como vamos fazer uma pilha com 4,4 limões?

A12: A gente pode cortar um limão na metade [risos].

P: É uma possibilidade [risos]. Nos vídeos que vocês pesquisaram, os limões eram cortados na metade?

A9: Não, todos usavam o limão inteiro.

P: E como vamos obter a tensão necessária?

(...)

A10: Eu acho que... vamos ter que usar mais limões que o necessário.

P: Como assim?

A10: Tipo, eu acho que se a gente colocar só 4 limões não vai ser suficiente. Então vamos ter que usar 5 limões.

Concordando com o encaminhamento sugerido por A10, o grupo considerou, então, uma pilha criada a partir de cinco limões em série. Recorrendo ao modelo matemático, a tensão elétrica gerada por essa pilha seria de 4,84 V. A partir da construção dessa pilha, os alunos constataram que a tensão elétrica gerada foi de 4,78 V. Como o valor encontrado experimentalmente foi próximo, o grupo considerou o modelo matemático pertinente, finalizando a atividade.

Análise das atividades de modelagem desenvolvidas: um olhar sob uma perspectiva da Educação STEM

A experimentação mediada pelo uso de materiais e equipamentos “incentiva o trabalho prático (‘mãos na massa’)” (Baioa & Carreira, 2019, p. 11). Com isso, entendemos que a experimentação tem potencial para que se investigue aspectos que permitam integrar as áreas STEM. Na escolha por uma temática em que um aparato experimental subsidiou o desenvolvimento da atividade, cada grupo, a partir de buscas na internet, optou em seguir

orientações sugeridas em diferentes vídeos. A partir da inteiração com o fenômeno e o encaminhamento a ser seguido, cada grupo manipulou equipamentos e reagentes aos quais tinham acesso e, para tanto, houve a necessidade de compreensões relativas à Ciência, à Tecnologia, à Engenharia e à Matemática.

Considerando a natureza de cada experimento – crioscopia, *slime* e pilha de limões – entendemos que os grupos de alunos “usaram artefatos cotidianos, materiais escolares e conhecimento da situação (mesmo não sendo especialista em tal conhecimento) para chegar a resultados considerados razoáveis” (Carreira & Baioa, 2018, p. 213) e suficientes para o que se propuseram a investigar. A abordagem experimental foi subsidiada pelos conhecimentos sobre Ciências para entender a ação da adição de um soluto não volátil à solução de água na crioscopia (G1), sobre as ações da solução de borato de sódio na produção de *slime* (G2) e aqueles referentes à tensão elétrica gerada por limões ligados em série (G3), bem como pela manipulação de equipamentos laboratoriais.

Para evidenciar o efeito crioscópico do sal, os alunos se apoiaram em uma ação recorrente em situações da realidade para resfriar bebidas. Todavia, lançaram mão do método científico por meio da realização de ensaios para analisar a ação do fenômeno, via abordagem laboratorial em que manipularam equipamentos como balança, béquer e termômetro analógico. Esse procedimento também fez parte da análise da intervenção da quantidade de reagentes na confecção de *slime*. Essas ações, como pontuado por Johnson (2013, p. 367), integram “o ensino de disciplinas de ciências e matemática através da infusão das práticas de investigação científica” e permitem uma educação integrada STEM.

Na matematização, o G1, ao fazer uma análise dos dados coletados empiricamente, evidenciou que a “temperatura está caindo menos. Em algum momento ela vai estabilizar” (relato de A1). Com essa hipótese, os alunos utilizaram o *software* Microsoft Excel para fazer um ajuste de curvas e determinar um modelo matemático que pudesse representar o fenômeno

em estudo, optando por um modelo quadrático em que, por meio do cálculo do vértice da parábola, encontraram a quantidade de sal em que a temperatura se estabilizaria. Esse encaminhamento assevera o objetivo da Tecnologia no desenvolvimento da atividade de modelagem matemática com experimentação – “explorar o valor epistêmico da ferramenta digital como instrumento de ensino e de aprendizagem” (Galbraith & Fisher, 2021, p. 201) – em que P solicita que os alunos determinem o ponto do vértice e o associe ao que estavam investigando.

A Tecnologia enquanto suporte para a dedução de um modelo matemático também se configurou no desenvolvimento da atividade do G2 – *slime* – e do G3 – pilha de limões. O uso dos *softwares* Tracker, CurveExpert e Microsoft Excel, além de “especialmente relevante para apoiar processos como experimentar, explorar, simular, visualizar, calcular, estimar” (Carreira, 2019, p. 54), possibilitou a visualização simultânea de múltiplas representações, que incentivaram a interação entre aspectos empíricos e teóricos dos objetos matemáticos que emergiram no desenvolvimento das atividades de modelagem com experimentação, mesmo quando G2 estranha a “forma” da expressão algébrica deduzida. Nesse contexto, “a experiência com a tecnologia amplia o repertório matemático dos estudantes, ou, no caso da atividade de modelagem, o que se pode dizer da situação do ponto de vista matemático é parte do que o uso da tecnologia produz” (Almeida et al., 2021, p. 143).

Articulações entre uso de tecnologia e engenharia se fizeram presentes, principalmente na produção dos protótipos relativos ao *slime* e à pilha de limões. Utilizando diferentes reagentes e misturas, o G2 produziu um *slime* em que considerou adequado quanto à elasticidade proporcionada. Esse empreendimento pode ser algo que se relacione a estudos no âmbito da Engenharia Química e da Engenharia de Materiais, por exemplo. Já os alunos do G3, com o voltímetro, analisaram a voltagem de energia produzida de acordo com o número de limões utilizados, em que podemos fazer alusões a ações presentes em estudos da

Engenharia Elétrica. Ponderamos que ambos os grupos, nas experimentações realizadas, agiram de modo a “aplicar seus conhecimentos matemáticos, explorar estratégias possíveis, avaliar seu pensamento, comparar soluções e produzir um protótipo” (Baker & Galanti, 2017, p. 4). A produção de tais protótipos permite-nos evidenciar que, na experimentação realizada, “matemática e engenharia formam as áreas de conteúdo primárias, com ciência como o conteúdo de apoio” (English, 2017, p. 5).

A abordagem da Matemática, seja de conteúdos matemáticos já estudados – função polinomial do segundo grau (G1) e função afim (G3) – ou de conteúdos matemáticos não vistos – função racional (G2) –, foi subsidiada por orientações e questionamentos de P, de modo que os alunos compreendessem o comportamento dos dados e compreendessem o que representava a expressão algébrica.

Em nossa investigação, evidenciamos que atividades de modelagem com experimentação, desenvolvidas pelos alunos do 9º ano do Ensino Fundamental, possibilitaram integração entre as áreas STEM, bem como impulsionaram o trabalho prático, compartilhado, cooperativo, de questionamentos, de elaboração de conjecturas e justificativas (Baioa & Carreira, 2019).

Ponderações finais

Diante das necessidades urgentes relativas à integração da educação STEM no âmbito das aulas regulares da Educação Básica (Hallström & Schönborn, 2019), bem como das potencialidades já evidenciadas na literatura no que compete à Modelagem Matemática com experimentação (English, 2017; English & Mousoulides, 2015; Carreira & Baioa, 2018; Baioa & Carreira, 2019) e do fato de os alunos escolherem a temática de interesse (Borssoi et al., 2021), nos valem em investigar: Como a Educação STEM é mobilizada no desenvolvimento de atividades de modelagem matemática com experimentação por alunos do 9º ano do Ensino Fundamental?

Os alunos, em grupos, escolheram temáticas que pudessem ser investigadas por meio da produção de dados coletados empiricamente, visto que essa era uma prática comum do professor nas aulas de Matemática. A solicitação de uma experimentação pelo professor, em que os alunos necessitaram manipular equipamentos laboratoriais a partir de fenômenos em que conteúdos de ciências naturais estavam presentes, de certo modo, os fez revisitar conteúdos já estudados ou mesmo buscar informações relativas a esses conteúdos. Nas três atividades analisadas neste artigo, os três grupos necessitaram buscar mais informações científicas sobre efeito crioscópico, ação de solução com borato de sódio e tensão elétrica gerada por limões conectados em série. Conjecturamos que foi possível que os alunos puderam “apreciar como sua aprendizagem escolar em matemática e ciências se aplica aos problemas do mundo exterior” (English & Mousoulides, 2015, p. 532).

O envolvimento dos alunos com cada um dos fenômenos em estudo requereu o uso da tecnologia computacional, seja para buscar informações relevantes sobre o que estavam investigando, seja para dar suporte à matematização com a possibilidade de visualização do comportamento dos dados, por meio de *softwares* como Tracker, Curve Expert e Microsoft Excel. No entanto, a escolha da curva que se ajustava a cada um dos dados levou em consideração o que se conhecia do fenômeno e a Matemática que poderia ser associada a ele. As ações empreendidas, de certo modo, vislumbraram “proporcionar meios para que o estudante se engaje nas ações, tome decisões, esteja em interação com o professor, com os colegas e com os meios que lhe permitem experimentar no desenvolvimento de atividades de modelagem” (Almeida et al., 2021, p. 144).

As tecnologias, associadas à manipulação de equipamentos laboratoriais, colocaram os alunos na posição de cientistas que elaboram hipóteses e chegam a conclusões do que está em estudo, percorrendo as três etapas da experimentação no ensino e aprendizagem (Emden & Sumfleth, 2014). Em particular, nas atividades analisadas, os equipamentos aproximaram

os alunos de ações que podem se fazer presentes em cursos de engenharias – química, materiais e elétrica –, em que realizaram simulações e construíram protótipos, aproximando-os do processo de *design* de engenharia, conforme esquema representado por Baioa e Carreira (2019, p. 11) e apresentado na Figura 1. Com isso, em alguns aspectos, houve uma “apropriação de conhecimentos já existentes para as ciências, mas novos para o sujeito” (Lima & Teixeira, 2011, p. 11).

Entendemos que, das cinco questões centrais elencadas por English (2017) e que devem ser consideradas nos currículos, nossos esforços se concentraram no item (b) – abordagens para integração STEM – em que as diferentes áreas STEM, em maior ou menor concentração, se articularam nas atividades de modelagem com experimentação por alunos do 9º ano do Ensino Fundamental. No entanto, entendemos que outras ações para subsidiar as questões – (a) perspectivas sobre a educação STEM, (c) disciplina de representação STEM, (d) igualdade no acesso à educação STEM e (e) extensão STEM para STEAM – sejam necessárias e correspondem a possibilidades de pesquisas futuras.

Referências

- Almeida, L. M. W., & Ferruzzi, E. C. (2009). Uma aproximação socioepistemológica para a modelagem matemática. *Alexandria*, 2(2), 117-134. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/37952>
- Almeida, L. M. W., Silva, K. A. P., & Borssoi, A. H. (2021). Um estudo sobre o potencial da experimentação em atividades de modelagem matemática no ensino superior. *Quadrante*, 30(2), 123–146. <https://doi.org/10.48489/quadrante.23605>
- Almeida, L. W., Silva, K. P., & Vertuan, R. E. (2012). *Modelagem Matemática na educação básica*. Editora Contexto.
- Araki, P. H. H., & Silva, K. A. P. (2022). Experimentação em contexto de atividades de modelagem matemática: uma análise à luz de pesquisas atuais. *Revista Dynamis*, 28(1), 144-163. <http://dx.doi.org/10.7867/1982-4866.2022v28n1p144-163>
- Baptista, M., & Martins, I. (2019). STEM as a means for students’ science learning. *Acta Scientiae*, 21(6), 98–115. <https://doi.org/10.17648/acta.scientiae.5421>
- Baker, C. K., & Galanti, T. M. (2017). Integrating STEM in elementary classrooms using model-eliciting activities: responsive professional development for mathematics coaches and teachers. *International Journal of STEM Education*, 4(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40594-017-0066-3>

- Baioa, A. M., & Carreira, S. (2019). Modelação matemática experimental para um ensino integrado de STEM. *Educação e Matemática: Revista da Associação de Professores de Matemática*, (152), 11-14. <https://em.apm.pt/index.php/em/article/view/2556>
- Borba, M., & Villarreal, M. (2005). *Humans-with-media and the reorganization of mathematical thinking: Information and communication technologies, modeling, visualization and experimentation*. Springer. <https://doi.org/10.1007/b105001>
- Borssoi, A. H., Silva, K. A. P., & Ferruzzi, E. C. (2021). Modelagem Matemática e Educação STEM no Ensino Superior. In M. Rosa, & V. Franco Neto (Org.), *Anais do Seminário Internacional de Pesquisa em Educação Matemática* (pp. 2090-2103). SBEM.
- Carreira, S. (2019). Modelação matemática e simulação no contexto escolar: conexões entre mundos. In N. Amado et al. (eds.), *Livro de Atas do EIEM 2019, Encontro de Investigação em Educação Matemática* (pp. 45-62). SPIEM.
- Carreira, S., & Baioa, A. M. (2011). Students' Modelling Routes in the Context of Objects Manipulation and Experimentation in Mathematics. In G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo Ferri, & G. Stillman (eds.). *Trends in Teaching and Learning of Mathematical Modelling* (pp. 211-220). Springer.
- Carreira, S., & Baioa, A. M. (2018). Mathematical modelling with hands-on experimental tasks: On the student's sense of credibility. *ZDM - Mathematics Education*, 50(1-2), 201-215. <https://doi.org/10.1007/s11858-017-0905-1>
- Emden, M., & Sumfleth, E. (2014). Assessing students' experimentation processes in guided inquiry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(1), 29-54. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9564-7>
- English, L. D. (2016). Developing early foundations through modeling with data. In C. Hirsch (Ed), *Annual perspectives in mathematics educations: Mathematical Modeling Mathematics* (pp. 187-195). NCTM - National Council of Teachers of Mathematics.
- English, L. D. (2017). Advancing Elementary and Middle School STEM Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9802-x>
- English, L. D., & Mousoulides, N. G. (2015). Bridging STEM in a Real-World Problem. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 20(9), 532-539. <https://doi.org/10.5951/mathteacmidscho.20.9.0532>
- Galbraith, P., & Fisher, D. M. (2021). Technology and mathematical modelling: addressing challenges, opening doors. *Quadrante*, 30(1), 198-218. <https://doi.org/10.48489/quadrante.23710>
- Hallström, J., & Schönborn, K. J. (2019). Models and modelling for authentic STEM education: reinforcing the argument. *International Journal of STEM Education*, 6(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0178-z>
- Halverscheid, S. (2008). Building a local conceptual framework for epistemic actions in a modelling environment with experiments. *ZDM - The International Journal on Mathematics*, 40(2), 225-234. <https://doi.org/10.1007/s11858-008-0088-x>
- Jonhson, C. C. (2013). Conceptualizing Integrated STEM Education. *School Science and Mathematics*, 113(8), 367-368. <https://doi.org/10.1111/ssm.12043>

- Klüber, T. E., & Burak, D. (2008). Concepções de modelagem matemática: contribuições teóricas. *Revista Educação Matemática Pesquisa*, 10(1), 17-34. <https://revistas.pucsp.br/index.php/emp/article/view/1642/1058>
- Lesh, R. A. (2002). Research design in mathematics education: Focusing on design experiments. In *Handbook of international research in mathematics education* (pp. 27–49). Lawrence Erlbaum Associates. [https://doi.org/Lawrence Erlbaum Associates](https://doi.org/Lawrence%20Erlbaum%20Associates).
- Lima, K. E. C., & Teixeira, F. M. (2011). A epistemologia e a história do conceito experimento/experimentação e seu uso em artigos científicos sobre ensino das ciências. *Anais do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (p. 1-12). Campinas: Congresso Iberoamericano de Investigación en Enseñanza de las Ciencias. http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/viii/enpec/resumos/R0355-1.pdf
- Lorenzato, S. (2010). *Para aprender matemática*. Autores Associados.
- Maiorca, C., & Stohlmann, M. (2016). Inspiring students in integrated STEM Education through modeling activities. In C. Hirsch (Ed), *Annual perspectives in mathematics educations: Mathematical Modeling Mathematics* (pp. 153-162). NCTM - National Council of Teachers of Mathematics.
- Rosa, M., & Orey, D. C. (2021). An Ethnomathematical Perspective of STEM Education in a Glocalized World. *Bolema*, 35(70), 840-876. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v35n70a14>
- Schrenk, M. J., & Vertuan, R. E. (2022). Modelagem Matemática como prática pedagógica: uma possível caracterização em Educação Matemática. *Revista Educação Matemática Pesquisa*, 24(1), 194-224. <https://doi.org/10.23925/1983-3156.2022v24i1p194-224>